

# 第六章 导体和电气设备 的原理与选择



上海电力学院电力与自动化学院  
《发电厂电气主系统》课程组

# 学习要求

- 掌握电器设备选择的一般条件；
- 掌握断路器和隔离开关的原理与选择；
- 掌握电流互感器和电压互感器的原理与选择；
- 掌握限流电抗器的选择；
- 掌握高压熔断器的原理与选择。

# § 6-1 电器选择的一般条件

配电设备选择原则：按正常条件选择，按短路情况校验

## 一、按正常条件选择

1.  $U_N \geq U_{NS}$

$U_N$ ——电气设备额定电压

$U_{NS}$ ——电网的额定电压

海拔在1000~4000米每增高100米，工作电压降低1%；海拔超过1000米的地区，一般应选用高原型产品或外绝缘提高一级的产品。

2.  $I_{al} \geq I_{\max}$

$I_{\max}$ ——电气设备所在回路最大持续工作电流；

发电机回路： 
$$I_{\max} = 1.05I_e = 1.05 \frac{P_e}{\sqrt{3} \times U_e \cos \varphi_e}$$

变压器回路： 
$$I_{\max} = \begin{cases} 1.05I_e & \text{没有过负荷} \\ (1.3 \sim 2)I_e & \text{过负荷} \end{cases}$$

出线回路:  $I_{\max} = \frac{P_{\max}}{\sqrt{3} \times U_e \cos \varphi_e}$  ←(线损→事故移过来的负荷)

母联断路器: 取最大支路的  $I_{\max}$

汇流主母线: 接于母线上的主要设备而定

$I_{ai}$  —— 实际环境温度  $\theta$  下的允许电流:  $I_{ai} = K_N I_\theta$

二、按短路状态校验

1、短路热稳定校验

一般电器:  $I_t^2 t \geq Q_k$

导体热稳定工程条件:  $S_{\min} \geq \frac{\sqrt{Q_k K_s}}{C}$

## 2、动稳定校验

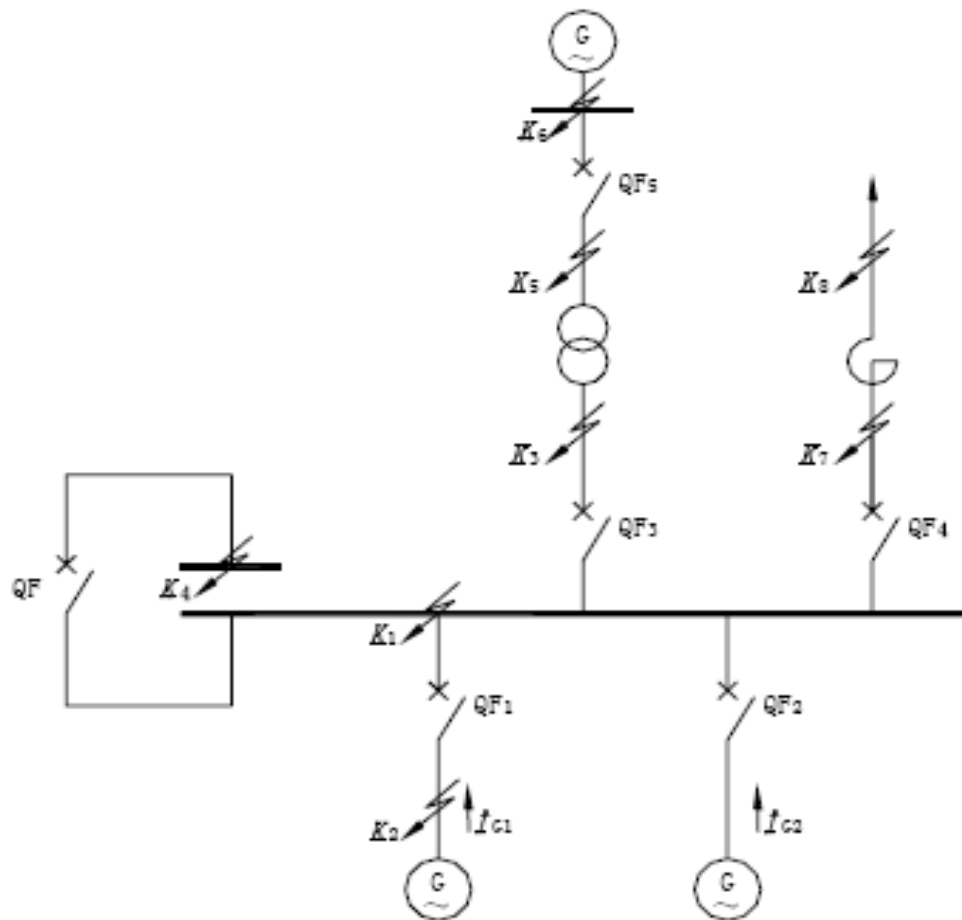
一般电器： $i_{es} \geq i_{sh}$  或  $I_{es} \geq I_{sh}$

导体动稳固工程条件： $I_{\max} \leq \sqrt{10\sigma_{ai}W / f_{ph}}$

## 三、短路电流计算条件：目的找出最大短路电流

- 1) 容量和接线：按最终容量计算，并考虑工程建成后5~10年其接线应采用可能发生最大短路电流接线方式。
- 2) 短路种类：一般按系统最大运行方式下三相短路校验
- 3) 计算短路点：选择通过电气设备的短路电流为最大的那些点为短路计算点。

例：找出图中各断路器的短路计算点



## 四、短路计算时间

$$t_k = t_{pr} + t_{ab}$$

$$t_{ab} = t_{in} + t_a$$

其中， $t_k$ ——短路计算时间

$t_{pr}$ ——继电保护时间

$t_{ab}$ ——断路器全开断时间

$t_{in}$ ——固有分闸时间

$t_a$ ——燃弧时间；少油断路器：0.04~0.06s；SF<sub>6</sub>和压缩空气断路器：0.02~0.04s。

- 校验裸导体及110KV及以下电缆短路热稳定时，一般采用主保护动作时间；
- 校验电气设备和110KV及以上充油电缆的热稳定时，一般采用后备保护动作时间。

## 下列几种情况可不校验热稳定或动稳定

- 用熔断器保护的电器，其热稳定由熔断时间保证，故可不验算热稳定。
- 采用有限流电阻的熔断器保护的设备可不校验动稳定；电缆因有足够的强度，亦可不校动稳定。
- 装设在电压互感器回路中的裸导体和电器可不验算动、热稳定。



## § 6-2 高压断路器与隔离开关的原理与选择

- **功能：**正常运行时，用它来倒换运行方式，把设备或线路接入电路或退出运行，起着控制作用；当设备或线路发生故障时，能快速切除故障回路、保证无故障部分正常运行，能起保护作用。
- **开断能力：**所谓开断能力，就是指断路器在切断电流时熄灭电弧的能力。

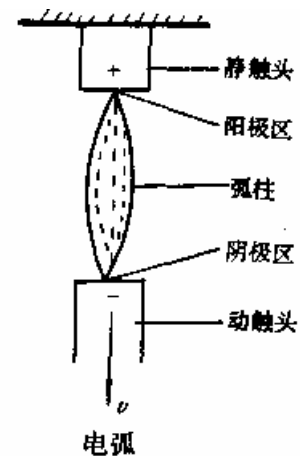
# 一、电弧理论

## 1、电弧的定义

- 电弧为一种气体游离放电现象，表现为开关电器开断电路时，触头间产生耀眼的白光。
- 电弧的存在说明电路中有电流，只有当电弧熄灭，触头间隙成为绝缘介质时，电路才算断开。

## 2、特征

- ① 电弧的能量集中，温度很高，亮度很强
- ② 电弧由阴极区，阳极区和弧柱区组成
- ③ 电弧的气体放电是自持放电
- ④ 电弧是一束游离的气体，极易变形。



## 2、电弧的形成

### 1) 带电质点的来源

①电极发射大量自由电子：热电子+强电场发射

②弧柱区的气体游离，产生大量的电子和离子：碰撞游离+热游离

### 2) 电弧的形成

热电子发射  
强电场发射  $\xrightarrow{\text{加速}}$  碰撞游离  $\longrightarrow$  温度 $\uparrow$   $\longrightarrow$  热游离  $\longrightarrow$  电弧

## 3、电弧的熄灭

### 1) 关键是加强去游离作用

- 介质的游离作用→电弧产生  
介质的去游离作用→电弧熄灭

当 游离 > 去游离——电弧电流 ↑

当 游离 = 去游离——电弧电流不变（稳定燃烧）

当 游离 < 去游离——电弧电流 ↓ →（熄灭）

- 去游离方式有2种：  
复合：正负离子相互吸引，彼此中和  
扩散：弧柱中的带电质点由于热运动逸出弧柱外。

## 2) 影响游离和去游离的因素

①电弧温度：热游离  $\downarrow \rightarrow Q \downarrow$

速度  $\downarrow \rightarrow$  复合加强  $\rightarrow Q \downarrow$

使温度降低的方法有：吹弧、拉长电弧、或与冷却介质表面接触。

②电场强度：  $E \downarrow \rightarrow$  运动速度  $\downarrow \rightarrow$  复合  $\uparrow \rightarrow Q \downarrow \rightarrow$  热游离  $\downarrow$

③气体介质的压力：  $F \downarrow \rightarrow$  自由行程缩短  $\rightarrow$  离子浓度  $\uparrow \rightarrow$  复合  $\uparrow$   
真空数目少  $\rightarrow$  碰撞游离  $\downarrow \rightarrow$  扩散  $\uparrow$

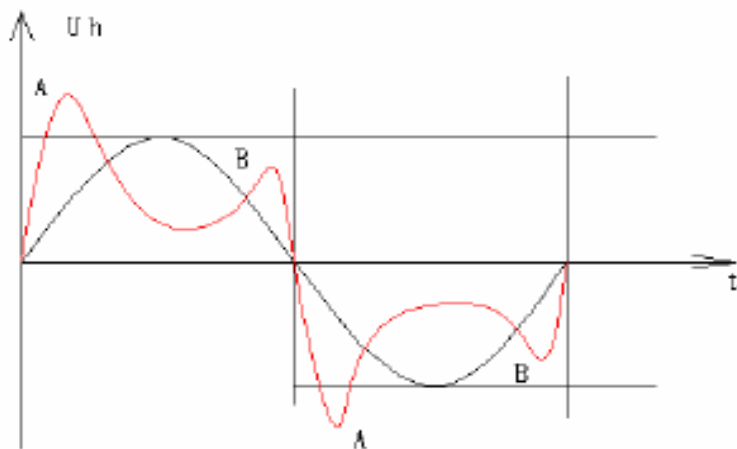
④介质特性：包括气体的介电强度、导热系数、热当量、电负荷

⑤电极材料：铜、银、铜钨、银钨合金

具有熔点高、导热能力强、热容量大的特点，可减少热电子发射和弧柱中的金属蒸气。

## 4、交流电弧的特性

### 1、动态伏安特性曲线



$U_h$ ——电弧电压，马鞍形状。  $A > B$   
A——燃弧电压                  B——熄弧电压

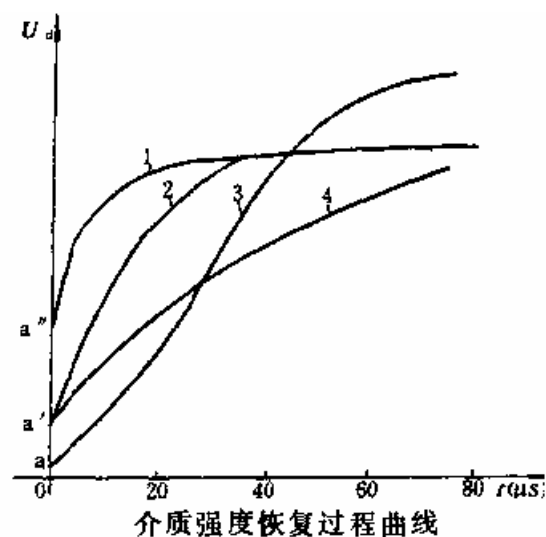
## 5、交流电弧的熄灭条件

### 1、弧隙介质电强度的恢复过程

$U_d(t)$ ——耐受电压：弧隙介质能够承受而不致使弧隙击穿的最小电压。

- 过程：电流过零前，电弧温度很高， $R_a$ 很小，弧隙为良导电通道  
电流过零前后，电弧温度↓， $R_a$ ↑，具有一定抗电强度

弧隙介质电强度的恢复过程与电弧电流的大小、介质特性、触头分断速度和冷却条件等因素有关。



1—真空；2—SF<sub>6</sub>；3—空气；4—油

## 2、弧隙电压的恢复过程 $U_r(t)$

电压由熄弧电压恢复到电源电压的过程。

过程：电流过零前，电弧电阻很小，电源电压大部分降落在线路或负载的阻抗上；

电流过零时，电弧熄灭，最后变为绝缘介质，电源电压全部加在弧隙上。

弧隙电压的恢复过程与线路参数、负荷性质等有关；可能是周期性的变化或非周期性的变化过程。

一般恢复电压由两部分组成：瞬态恢复电压  $U_{tr}$

（几十微秒至几毫秒）和工频恢复电压  $U_{sr}$

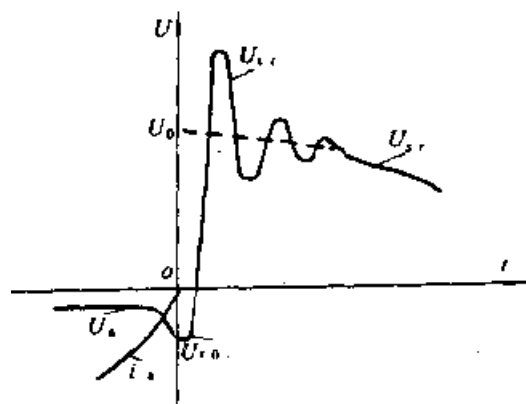
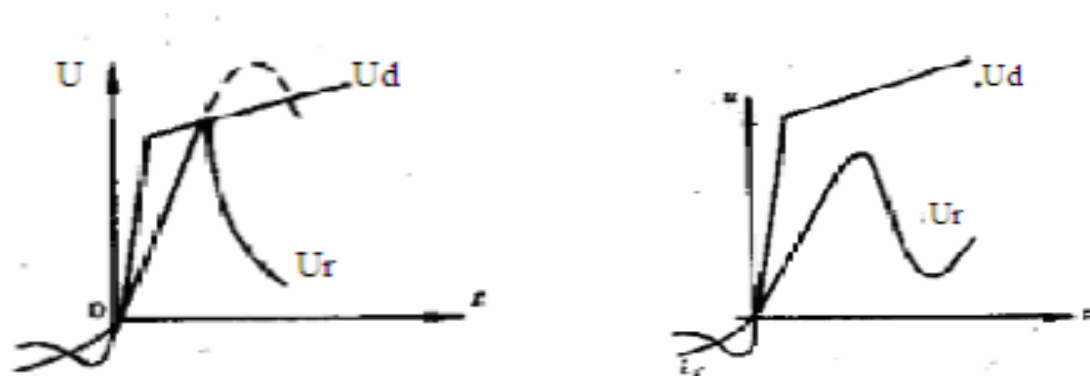


图 5-7 恢复电压的组成

$U_{tr}$ —瞬态恢复电压； $U_{sr}$ —工频恢复电压；  
 $U_a$ —电弧电压； $i_a$ —电弧电流； $U_{r0}$ —恢复电压起始值



### 3、交流电弧的熄灭条件



在电弧电流过零时，电弧由于失去能量，电弧自然熄灭。此时，弧隙中间同时存在两个恢复过程，即介质强度的恢复过程 $U_d(t)$ 和电源电压的恢复过程 $U_r(t)$ 。如果电源恢复电压高于介质强度恢复电压，弧隙就被击穿，电弧重燃。反之，电弧熄灭。

## 6、交流电弧的灭弧方法

本质：加强弧隙的去游离或减小弧隙电压的恢复速度。

- 1、利用灭弧介质
- 2、采用特殊金属材料作灭弧触头
- 3、利用气体或油吹动电弧
- 4、采用多断口灭弧
- 5、拉长电弧并提高触头的分闸进度

## 二、 高压断路器选择

### 1、选择高压断路器的步骤

#### 1) 选型



2) 额定电压  $U_N \geq U_{NS}$

3) 额定电流  $I_N \geq I_{\max}$

4) 开断电流  $I_{Nbr} \geq I''$

5) 短路关合电流  $i_{Ncl} \geq i_{sh}$

6) 热稳定校验  $I_t^2 t \geq Q_k$

7) 动稳定校验  $i_{ez} \geq i_{sh}$

## 三、隔离开关的选择

### 1、隔离开关的主要用途

1) 隔离电压

2) 倒闸操作

3) 分、合小电流，包括

- 分、合避雷器、电压互感器和空载母线；
- 分、合励磁电流不超过2A的空载变压器；
- 关合电容电流不超过5A的空载线路。

## 2、隔离开关的选择

### 1) 选型



2) 额定电压  $U_N \geq U_{NS}$

4) 热稳定校验  $I_t^2 t \geq Q_k$

3) 额定电流  $I_N \geq I_{\max}$

5) 动稳定校验  $i_{es} \geq i_{sh}$

## § 6-3 互感器的原理与选择

- 互感器分为电流互感器（TA）和电压互感器（TV），是一次系统和二次系统间的联络元件，用以分别向测量仪表、继电器的电流线圈和电压线圈供电，正确反映电气设备的正常运行和故障情况。
- 作用：
  - （1）将一次回路的高电压和大电流变为二次回路标准的低电压（100V）和小电流（5A或1A），使测量仪表和保护装置标准化、小型化，并使其结构轻巧、价格便宜，并便于屏内安装。
  - （2）使二次设备与高电压部分隔离，且互感器二次侧均接地，从而保证了设备和人身的安全。

# 一、电磁式电流互感器

## 1、工作原理

工作原理与变压器相似。特点：

- 1) 一次绕组串联在电路中，并且匝数很少；故一次绕组中的电流完全取决于被测电路的负荷电流，而与二次电流大小无关；
- 2) 电流互感器的二次绕组所接仪表的电流线圈阻抗很小，正常情况下，电流互感器在近于短路的状态下运行。
- 3) 运行中的电流互感器二次回路不允许开路。
- 4) 为了防止绝缘损坏是高压窜入二次侧，危及人身和设备安全，电流互感器副绕组一端及铁芯必须接地。



## 2、电流互感器的误差

误差包括幅值和相位差。

$$\text{幅值误差: } f_i = \frac{K_i I_2 - I_1}{I_1} \times 100\%$$

相位差是指旋转  $180^\circ$  的二次侧电流相量与一次侧电流相量的相角之差，以分为单位，并规定二次侧相量超前一次侧相量为正误差，反之为负误差。

## 3、电流互感器的准确级和额定容量

1) 准确级：准确级是指在规定的二次负荷变化范围内，一次电流为额定值时的最大电流误差。

2) 额定容量：指电流互感器在额定二次电流和额定二次阻抗（最高精度下）下运行时，二次绕组输出的容量， $S_{N2} = I_{N2}^2 Z_{N2}$ 。也可用额定二次阻抗

$Z_{N2}$  表示。

### 3) 级次组合

表示电流互感器有几个独立铁芯和每个铁芯的准确度级次，分子为第一铁芯准确度级次，分母为第二铁芯准确度级次。

### 4) 10%倍数

## 4、电流互感器的运行参数对误差的影响

$$f_i = -\frac{(Z_2 + z_{2l})l_{av}}{222N_2^2 S\mu} \sin(\psi + \alpha) \times 100(\%)$$

$$\delta_i \approx \frac{(Z_2 + z_{2l})l_{av}}{222N_2^2 S\mu} \cos(\psi + \alpha) \times 3440(^{\circ})$$

$S, l_{av}$ ——铁芯截面 ( $\text{m}^2$ ) 和磁路平均长度 (m) ;

$\mu$ ——铁芯磁导率 (H/m) ;

$Z_2, z_{2l}$ ——互感器二次绕组的内阻抗和负载阻抗 ( $\Omega$ )

$N_2$ ——二次绕组匝数。

1) 一次电流  $I_1$  的影响

2) 二次负荷阻抗及功率因数对误差的影响

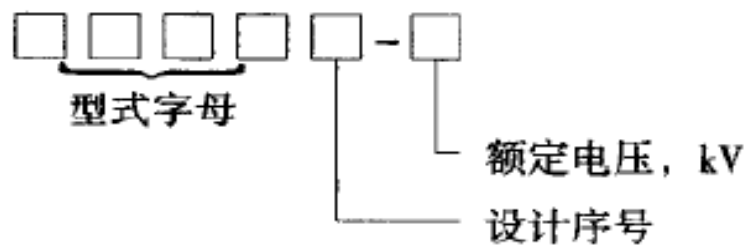
3) 二次绕组开路

# 5、电流互感器的分类与参数

## 1) 分类

- 按安装地点分，电流互感器分为户内型和户外型；
- 按安装方式分，可分为穿墙式、支持式和装入式；
- 按绝缘方式分，可分为油浸式、干式、浇注式；
- 按一次绕组匝数分，可分为单匝式、多匝式。

## 2) 型号表达式



## 6、电流互感器的选择

### 1) 一次回路额定电压和电流的选择

$$U_{N1} \geq U_{Ns}$$

$$I_{N1} \geq I_{\max}$$

一次侧额定电流应尽可能与最大工作电流接近。

### 2) 二次额定电流的选择

一般强电系统用5A，弱电系统用1A。

### 3) 电流互感器种类与型式的选择

安装地点和安装方式

### 4) 电流互感器准确级和额定容量的选择

互感器的准确级不得低于所供测量仪表的准确级。

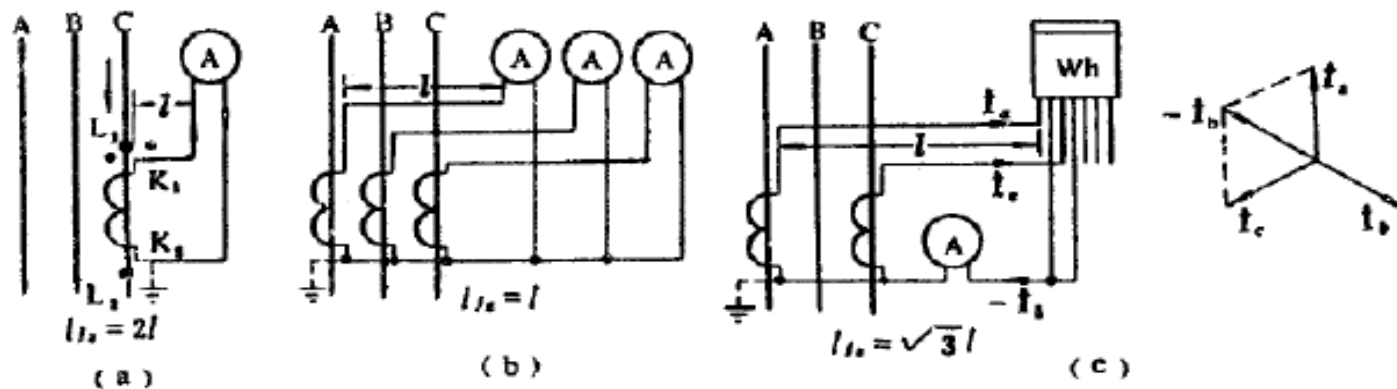
$$S_{N2} \geq S_2 = I_{N2}^2 Z_{2l}$$

$$Z_{2l} = r_a + r_{re} + r_l + r_c$$

= 仪表电流线圈电阻 + 继电器电阻 + 连接导线电阻 + 接触电阻

$$S = \frac{\rho L_c}{r_l} \geq \frac{I_{N2}^2 \rho L_c}{S_{N2} - I_{N2}^2 (r_a + r_{re} + r_c)} = \frac{\rho L_c}{Z_{N2} - I_{N2}^2 (r_a + r_{re} + r_c)} (m^2)$$

$L_c$ ——计算长度，与仪表到互感器的实际距离L及电流互感器的接线方式有关。



(a) 单相接线; (b) 星形接线; (c) 不完全星形接线

## 5) 热稳定和动稳定校验

热稳定:

$$I_t^2 \geq Q_k \text{ 或 } (K_t I_{N1})^2 \geq Q_k \quad (t=1)$$

动稳定:

a) 内部动稳定

$$i_{es} \geq i_{sh} \text{ 或 } \sqrt{2} I_{N1} K_{es} \geq i_{sh}$$

b) 外部动稳定: 电流互感器绝缘瓷帽上受到外力的作用, 校验其机械强度。

$$F_{ai} \geq 1.73 \times 10^{-7} i_{sh}^2 L_c / a \quad (N)$$

## 二、电压互感器的原理与选择

### 1、电磁式电压互感器

#### 1) 工作原理

工作原理和变压器相同。

特点：

(1)正常工作时电压互感器二次侧接近于空载状态，一次电气系统电压不受二次侧负荷的影响。

(2)运行中一旦二次侧发生短路，短路电流将使绕组过热而烧毁，因此电压互感器二次要装设熔断器进行保护，不能短路运行。

## 2) 作用

1. 供电给测量仪表和继电器等，正确反映一次电气系统的各种运行情况。
2. 对低电压的二次系统与高电压的一次系统实施电气隔离，保证工作人员和设备的安全。
3. 将一次回路的高电压变换成统一标准的低电压值（ $100\text{V}$ 、 $100/3\text{V}$ 、 $\frac{100}{\sqrt{3}}\text{V}$ ），使测量仪表和继电器小型化、标准化。
4. 取得零序电压以反映小接地短路电流系统的单相接地故障。



### 3) 电压互感器的误差

误差分为电压误差和相位差。

误差由空载误差和负载误差组成。与二次负载、功率因数和一次电压等运行参数有关。

减小互感器误差的措施

从制造和使用：

1) 制造上 提高并稳定激磁阻抗，减小漏抗。（采用高导磁率的冷轧硅钢片、增大铁芯截面、缩短磁路长度和减小气隙；减小内阻抗的方法是减小线圈电阻、选用合理的线圈结构与减小漏磁等）

2) 使用上 应使电压互感器的一次电压、二次负荷及功率因数在归定的范围内运行。

## 4) 电压互感器的准确级和容量

1) 准确级：是指在规定的二次电压和二次负荷变化范围内，负荷功率因数为额定值时，电压误差的最大值。

0.2级电压互感器用于实验室精密测量；0.5级用于电度计量；1级用于配电屏仪表指示；3级用于继电保护和精度要求不高的自动装置。

2) 同一台电压互感器对应于不同的准确度等级有不同的容量。额定容量是指对应于最高准确级的容量。最大容量是按电压互感器在最高工作电压下长期工作容许的发热条件规定的。

## 5) 电磁式电压互感器的分类和结构

按安装地点分为户内型和户外型；

按相数分为单相式、三相式；

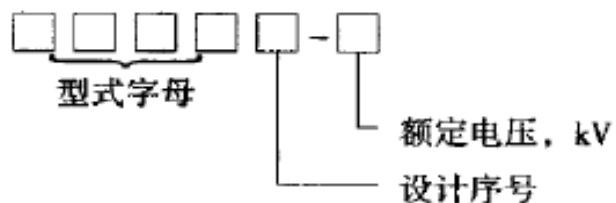
按每相的绕组数分为双绕组、三绕组；

按绝缘方式分为油浸式、干式、浇注式；

按结构分为普通式、串级式、电容分压式。

3~35kV：普通式；110kV及以上：电磁式电压互感器制成串级结构：绕组和铁芯采用分级绝缘，以简化绝缘结构；绕组和铁芯放在瓷套中，可减少重量和体积。

# 型号表达式



电压互感器型号含义

第一个字母		第二个字母		第三个字母		第四个字母		第五个字母	
字母	含意	字母	含意	字母	含意	字母	含意	字母	含意
J	电压互感器	C	“串”级式 单相 三相	C	“瓷”箱式 干式 油浸绝缘 电容分压式 浇注绝缘	J	接地保护 油浸绝缘	W	户外式
Y		D		G		J			
		S		J					
			R						
				Z					

## 2、电容式电压互感器

### 1) 工作原理

电容分压器：
$$U_{c2} = \frac{U_1 C_1}{C_1 + C_2} = KU, \quad K \text{——分压比}$$

### 2) 误差

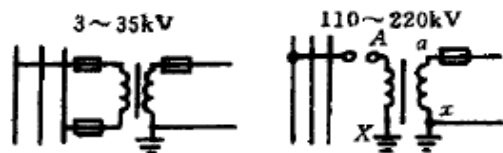
$$f_u = f_0 + f_l + f_d$$

$$\delta_u = \delta_0 + \delta_l + \delta_d$$

空载误差+负载误差+阻尼器负载电流产生的误差。

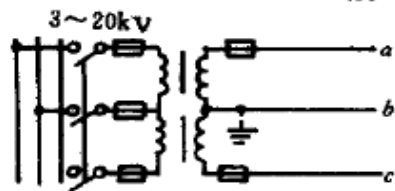
误差与  $U_1, Z_{2l}, \cos \varphi_2, f$  有关。

# 电压互感器的接线形式

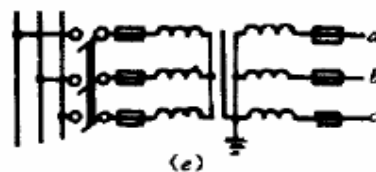


(a)

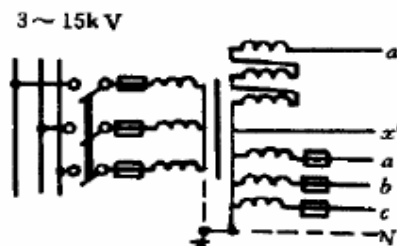
(b)



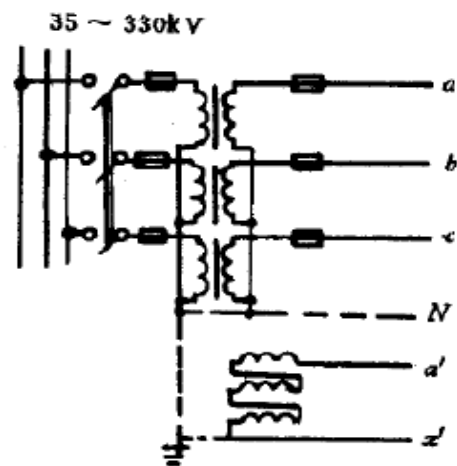
(c)



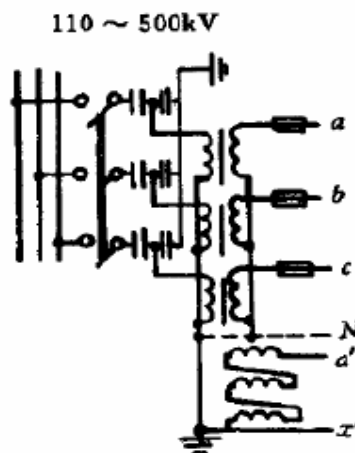
(e)



(f)



(d)



(g)

### 3、电压互感器的选择

#### 1) 一次回路电压的选择

$$0.8U_{N1} < U_{Ns} < 1.2U_{N1}$$

#### 2) 二次回路电压的选择

接线型式	电网电压 (kV)	型式	二次绕组电压 (V)	辅助二次绕组 (V)
(b)(c)	3~35kV	单相式	100	无
(d)	110J~500J	单相式	$100/\sqrt{3}$	100
	3~60	单相式	$100/\sqrt{3}$	100/3
	3~15	三相五柱式	100 (线电压)	100/3 (相)

### 3) 种类和型式选择

装设地点和使用条件

### 4) 容量和准确级选择

按最大相负载要求，最高准确等级

$$S_2 = \sqrt{(\Sigma P)^2 + (\Sigma Q)^2} \quad \text{算各相 } P_{\max}, Q_{\max}$$

$$S_{N2} \geq S_2$$

无需要校验动、热稳定。



# 三、互感器在主接线中配置原则

## 1、电压互感器的配置

- 1) 母线
- 2) 线路
- 3) 发电机
- 4) 变压器

## 2、电流互感器的配置

- 1) 在发电机、变压器、出线、母线分段及母联断路器、旁路断路器等回路中均设有电流互感器。对于中性点直接接地系统，一般按三相配置；中性点不直接接地系统，依具体情况配二相或三相。
- 2) 对于保护用电流互感器的装设地点应按尽量消除主保护装置的不保护区来设置。
- 3) 电流互感器通常布置在断路器的出线或变压器侧。
- 4) 用于自动调节励磁装置的电流互感器应布置在发电机定子绕组的出线侧；用于测量仪表的电流互感器宜装在发电机中性点测。

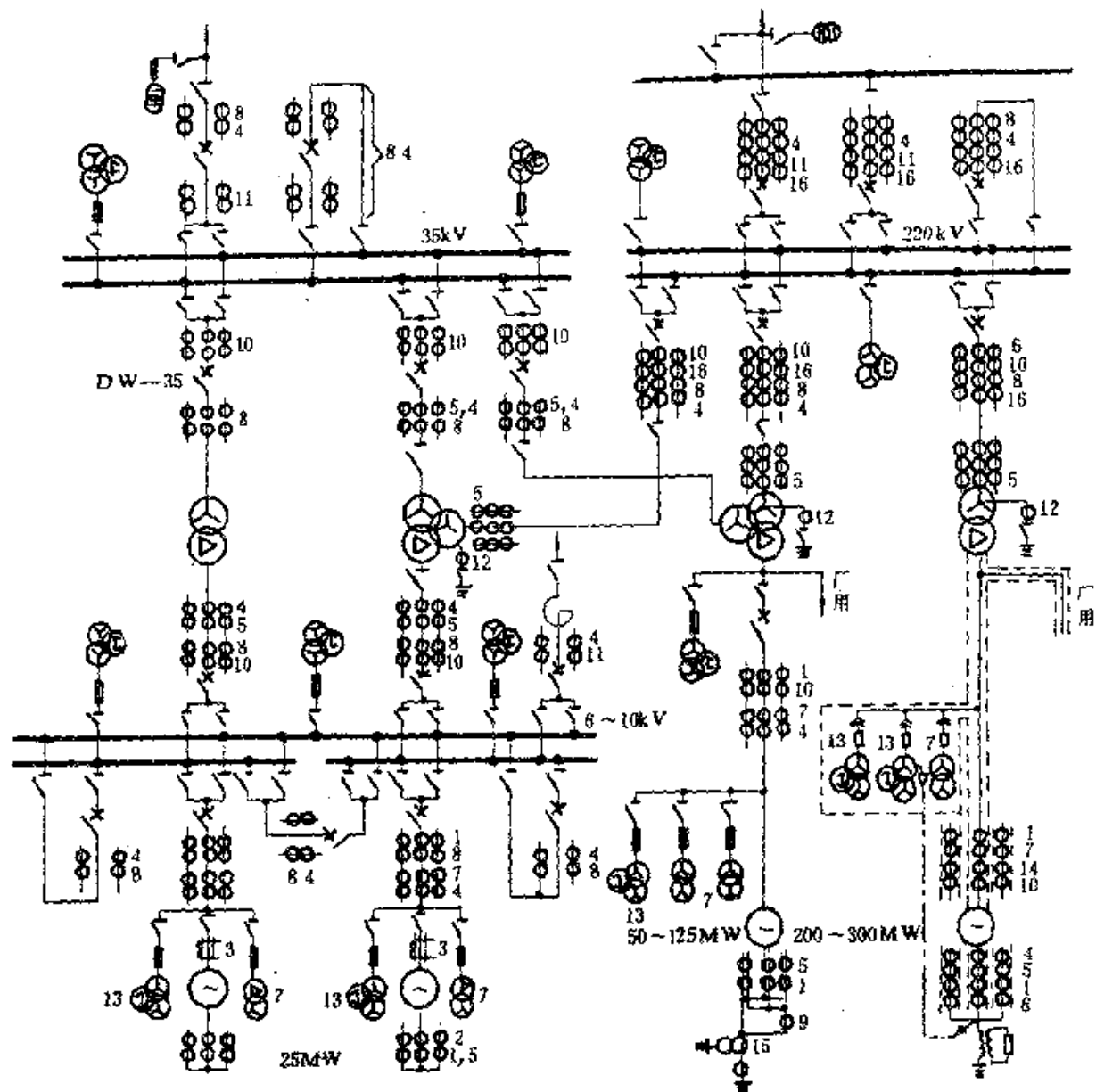


图 5-35 发电厂中互感器配置图 (图中数字标明用途)

1—发电机差动保护；2—测量仪表（机房）；3—接地保护；4—测量仪表；5—过流保护；6—发电机-变压器差动保护；7—自动调节励磁；8—母线保护；9—横差保护；10—变压器差动保护；11—线路保护；12—零序保护；13—仪表和保护用TV；14—失步保护；15—定子100%接地保护；16—断路器失灵保护

## § 6-4 限流电抗器的选择

### 一、额定电压和额定电流的选择

$$U_N \geq U_{Nz}$$

$$I_N \geq I_{\max}$$

当分裂电抗器用于发电厂的发电机或主变压器回路时， $I_{\max}$ 一般按发电机或主变额定电流的70%选择；用于变电所主变压器回路时， $I_{\max}$ 取两臂中负荷电流较大者，当无负荷资料时，一般按主变额定容量的70%选择。

## 二、电抗百分数的选择

### (一) 普通电抗器

#### 1) 按将短路电流限制在一定数值得要求来选择

设要求将短路电流限制到  $I''$ ， $x'_{*\Sigma}$  为电源至电抗器前的系统电抗标么值， $U_d, I_d$  为基准电压和基准电流，则电抗在其额定参数下的百分电抗

$$x_L \% = \left( \frac{I_d}{I''} - x'_{*\Sigma} \right) \frac{I_N U_d}{I_d U_N} \times 100\%$$

#### 2) 正常运行时电压损失 $\Delta U\%$ 校验

$$\Delta U \% \approx x_L \% \frac{I_{\max}}{I_N} \sin \varphi \leq 5\%$$

#### 3) 母线残差校验

$$\Delta U_{re} \% = x_L \% \frac{I''}{I_N} \geq 60\% \sim 70\%$$

### 三、热稳定和动稳定校验

热稳定： $I_t^2 t \geq Q_k$

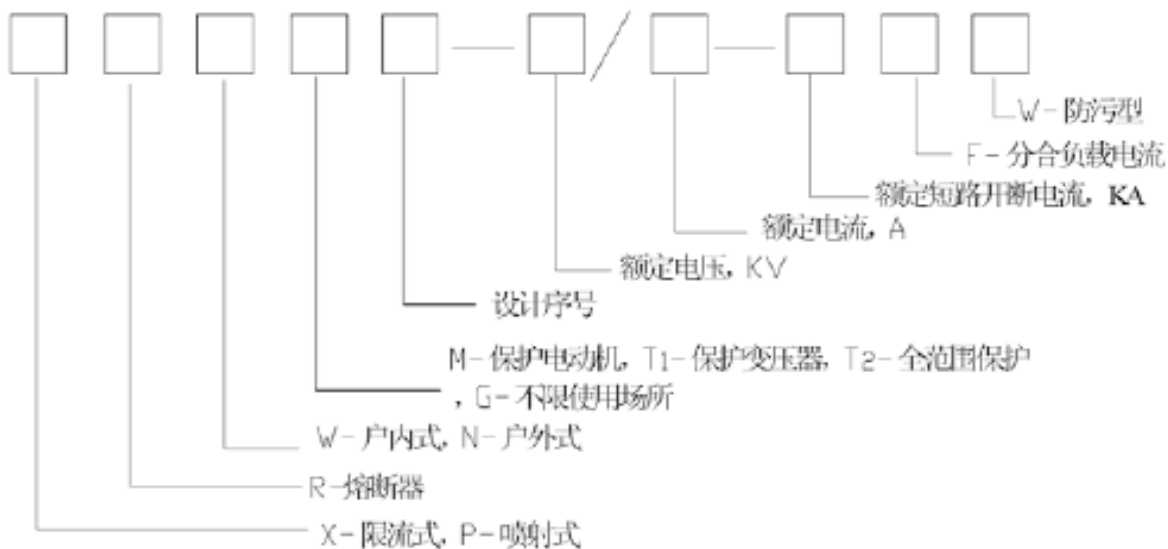
动稳定： $i_{es} \geq i_{sh}$

# § 6-5 高压熔断器的选择

- 熔断器是最简单的保护电器，它用来保护电气设备免受过载和断路电流的损害。
- 高压熔断器的选择

## 1、 型式

按安装地点：户内和户外



## 2、按额定电压选择

一般熔断器： $U_N \geq U_{NS}$

填充石英砂限流熔断器： $U_N = U_{NS}$

## 3、按额定电流选择

包括熔断器熔管的额定电流和熔体的额定电流。

### 1) 熔管额定电流

$I_{Nf} \geq I_{Nfz}$  (熔管的额定电流大于等于熔体的额定电流)

### 2) 熔体额定电流

保护35kV及以下电力变压器的高压熔断器

$$I_{Nfz} = KI_{max}$$

K——可靠系数（不计电动机自启动时K=1.1~1.3，考虑电动机自启动时K=1.5~2.0）

保护电力电容器的高压熔断器

$$I_{Nfz} = KI_{Nc}$$

K——可靠系数（对限流式高压熔断器，当一台高压电容器时K=1.5~2.0，当一组高压电容器时K=1.3~1.8）

$I_{Nc}$ ——电力电容器回路的额定电流。

### 3、熔断器开断电流校验

$$I_{Nbr} \geq I_{sh} (\text{或} I'')$$

对于没有限流作用的熔断器，取 $I_{sh}$ ；对有限流作用的熔断器，取 $I''$

对于保护电压互感器的高压熔断器，只需按额定电压及断流容量两项来选择。



电器主要选择项目汇总表

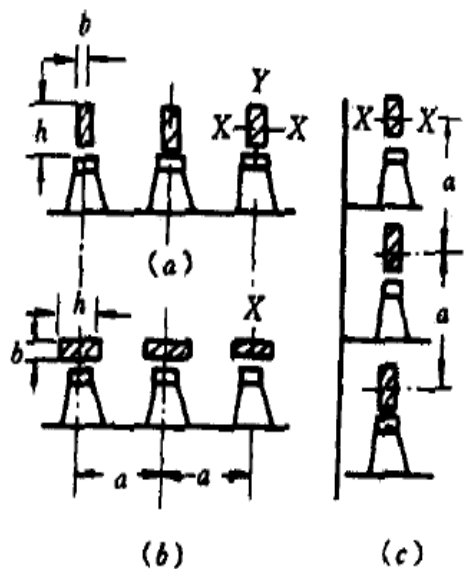
项 目	一般选择项目				特殊选择项目
	额定电压	额定电流	热稳定	动稳定	
高压断路器	$U_N \geq U_{NS}$	$I_N \geq I_{\max}$	$I_t^2 t \geq Q_k$	$i_{es} \geq i_{sh}$	$I_{Nbr} \geq I'' \quad i_{Ncl} \geq i_{sh}$
隔离开关					—
出线电抗器					$x_L \% = \left( \frac{I_d}{I''} - x'_{*\Sigma} \right) \frac{I_N U_d}{I_d U_N} \times 100\%$
					$\Delta U \% \approx x_L \% \frac{I_{\max}}{I_N} \sin \varphi \leq 5\%$
					$\Delta U_{re} \% = x_L \% \frac{I''}{I_N} \geq 60\% \sim 70\%$
电流互感器					$S \geq \frac{\rho L_c}{Z_{N2} - I_{N2}^2 (r_a + r_{re} + r_c)}$ 磁套式: $F_{al} \geq F_c$
高压熔断器		$I_{Nf} \geq I_{Nf} \geq I_{\max}$	—	—	$I_{Nbr} \geq I_{sh} \text{ (或 } I'')$
电压互感器	$0.8U_{N1} <$ $U_{N2} < 1.2U_{N1}$	—	—	—	$S_{N2} \geq S$ 计费电能表 $\Delta U \% < 0.5\%$ 一般仪表 $\Delta U \% \leq 1\% \sim 3\%$

## § 6-6 裸导体的选择

### 一、导体选型

材料：铜、铝、铝合金

类型：常用的导体截面有矩形、槽形和管形。

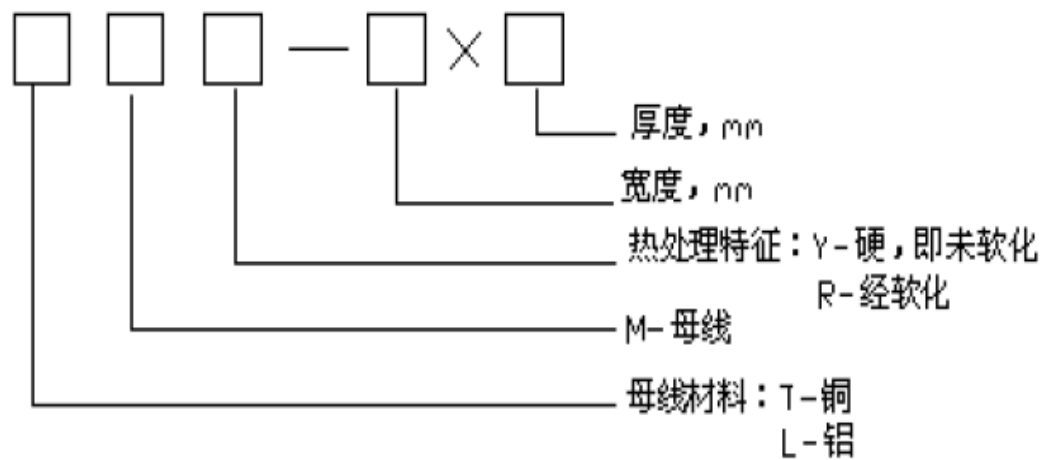


(a) 三相水平布置，导体竖放；

(b) 三相水平布置，导体横放；

(c) 三相垂直布置，导体竖放；

## 矩形母线型号表达式



## 2、导体截面的选择

导体截面可按长期发热允许电流或经济电流密度选择。除配电装置的汇流母线外，对于年负荷利用小时数大传输容量大，长度在20米以上的导体，其截面一般按经济电流密度选择。

### (1) 按长期发热允许电流选择

$$I_{\max} \leq KI_{al}$$

### (2) 按经济电流密度选择

$$S = \frac{I_{\max}}{J}$$

选择截面接近经济截面的标准截面，当无合适规格的导体时，为节省投资，允许选择小于经济截面的导体。按经济截面选择的导体截面的允许电流还必须大于长期发热允许电流。

### 3、电晕电压校验

对于 110kV 及以上裸导体，可按晴天不发生全面电晕条件校验，即裸导体的临界电压  $U_{cr}$  应大于最高工作电压  $U_{max}$ ，即

$$U_{cr} \geq U_{max}$$

当所选软导线型号和管形母线外径不小于下列数值时，可不进行电晕校验；110KV，LGJ-70/  $\Phi$ 20；220KV，LGJ-300/  $\Phi$ 30。

### 4、热稳定校验

$$S_{min} = \sqrt{Q_k k_s / (A_f - A_i)} = \sqrt{Q_k k_s} / C$$

$C$ ——热稳定系数；  $C = \sqrt{A_f - A_i}$ ，与导体材料和工作温度有关。

## 5、 硬导体的动稳定校验

### 1) 单条矩形导体

- 设定导体绝缘子间跨距为 $l$ ，求导体最大相间应力，比较是否满足条件，即 $\sigma_{ph} \leq \sigma_{al}$ 。

将导体抽象成为自由支承在绝缘子上的多跨距、匀载荷梁，其最大弯

矩：
$$M = \frac{f_{ph} l^2}{10} \quad (\text{Nm}) \quad \text{跨距数大于 2}$$

$$M = \frac{f_{ph} l^2}{8} \quad (\text{Nm}) \quad \text{跨距数等于 2}$$

导体最大相间应力

$$\sigma_{ph} = \frac{M}{W} = \frac{f_{ph} l^2}{10W} \quad (\text{Pa})$$

W——导体对垂直于作用力方向轴的截面系数。

- 计算导体绝缘子间最大允许跨距，取实际跨距小于等于最大允许跨距  $l \leq l_{\max}$ 。

$$l_{\max} = \sqrt{10\sigma_{al}W / f_{ph}} \quad (\text{m})$$

当矩形导体平放时跨距一般不超过 1.5~2m。考虑到绝缘子支座及引下线安装方便、三相水平布置的汇流母线常取绝缘子跨距等于配电装置间隔。

## 2) 多条矩形导体

母线中最大机械应力由相间应力  $\sigma_{ph}$  和同相条间应力  $\sigma_b$  叠加而成，

$\sigma_{\max} = \sigma_{ph} + \sigma_b$ ，满足  $\sigma_{\max} \leq \sigma_{al}$ 。 $\sigma_{ph}$  计算同上。

◇ 条间中心距为  $2b$ ，因条间距离近，故需考虑截面形状系数。

◇ 双条导体，相电流在两条中平均分配， $f_b = 2.5K_{12}i_{sh}^2 \frac{1}{b} \times 10^{-8}$

◇ 三条导体，边条中通过 40%相电流，中间条通过 20%相电流，边

条受力最大， $f_b = 8(K_{12} + K_{13})i_{sh}^2 \frac{1}{h} \times 10^{-9}$ 。



◇ 边条导体所受弯矩可按两端固定的匀载荷梁计算：

$$M_b = \frac{f_b l_b^2}{12}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{f_b l_b^2}{12W} = \frac{f_b l_b^2}{2b^2 h}$$

$$l_{b \max} = \sqrt{12 \sigma_{bal} W / f_b}$$

◇ 为了防止同相各条矩形导体在条间作用力作用下产生弯曲而互相

接触，衬垫间允许的最大跨距——临界跨距  $l_{cr} = \lambda b^4 \sqrt{\frac{h}{f_b}}$

$\lambda$ ——系数，铜：双条为 1774；三条为 1355；铝：双条为 1003，

三条为 1197。

## 实际设计中

1) 给定导体绝缘子间跨距为  $l$ ，计算  $\sigma_{ph}$ ， $\sigma_{bal} = \sigma_{al} - \sigma_{ph}$ ，计算，

得到  $l_{b\max}$ ，选择  $l_b \leq \min(l_{b\max}, l_{cr})$ ；

2) 给定条间衬垫跨距为  $l_b$ ，校核满足  $l_b \leq l_{cr}$ ，计算  $\sigma_b$ ，

$\sigma_{phal} = \sigma_{al} - \sigma_b$ ；得到  $l_{\max}$ ，选择  $l \leq l_{\max}$ ；

## 6、导体共振校验

对于重要回路（如发电机、变压器及汇流母线等）的导体应进行共振

校验。计算导体的一阶自振频率  $f_1 = \frac{N_f}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$ ，查表得动态应力系数

$\beta$ 。

或计算  $l_{\max} = \frac{N_f}{f_1} \sqrt{\frac{EI}{m}}$ ，取  $f_1 = 160\text{HZ}$ ，取绝缘子跨距  $l \leq l_{\max}$  满足共振

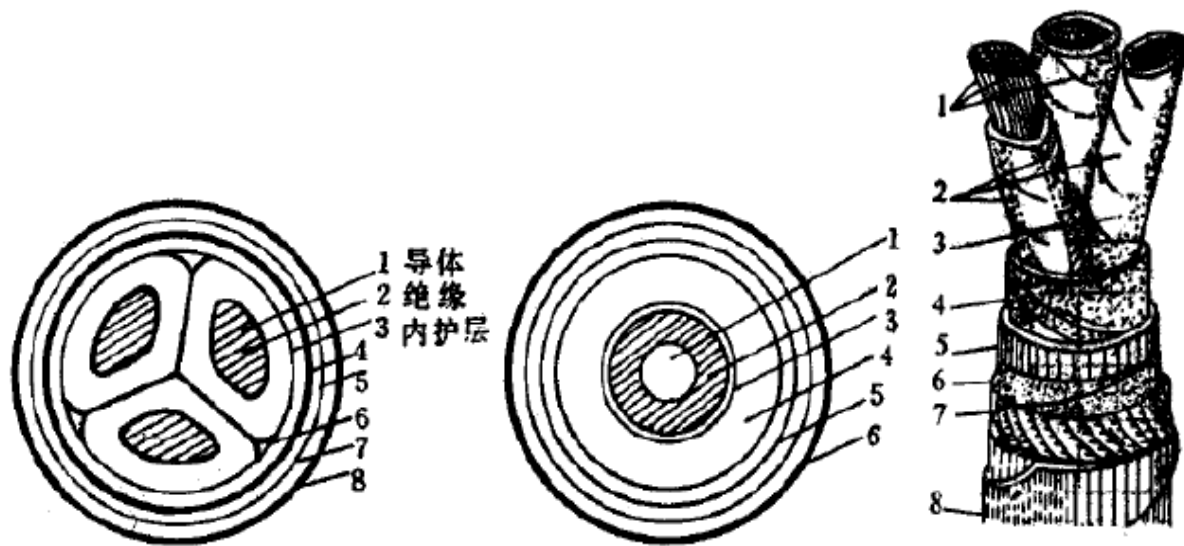
要求。

# § 6-7 电缆、绝缘子和套管的选择

## 一、电缆的选择

- **作用特点：**是传送和分配电能的一种非裸露的特殊导线，具有防腐、防潮、防损伤、不易故障、布置紧凑等优点，但其具散热差、载流量小、有色金属利用率低、价格贵，一旦故障查找和修复较困难等缺点。
- **选择项目：**1) 电缆芯线材料及型号；2) 额定电压；3) 截面选择；4) 允许电压降校验；5) 热稳定校验。电缆的动稳定由厂家保证，可不必校验。

# 1、 电缆芯线材料及型号选择



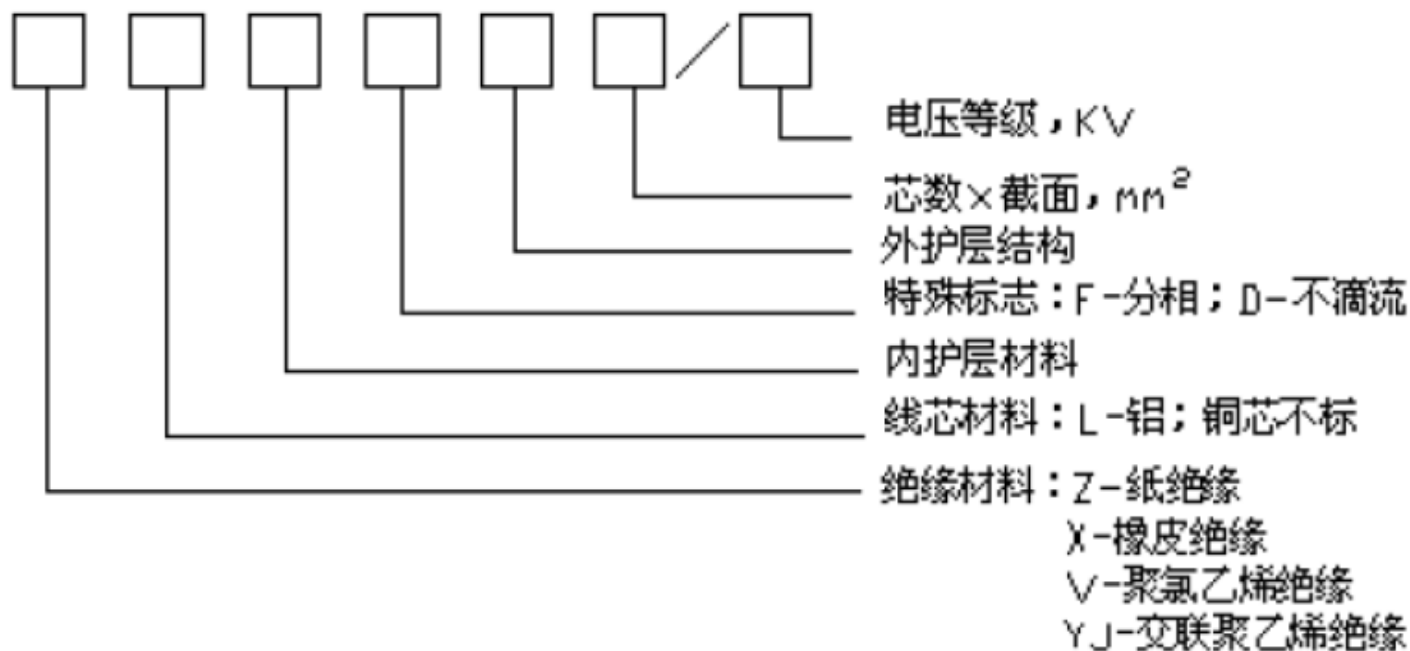
a) 三芯统包电缆

b) 单芯充油电缆

c) 三芯钢带铠装电缆

1—导体； 2—芯绝缘； 3—黄麻填料； 4—带绝缘； 5—包皮； 6—纸带； 7—黄麻保护层； 8—钢铠

## 电缆的型号表达式



≤35KV常用三相铝芯电缆，≥110KV单相充油电缆直埋钢带铠装，不滴流，高度差大，或用塑料电缆，最近小水电常用ZR—YJV形电缆。

## 2、 电压选择

$$U_N \geq U_{Ns}$$

## 3、 截面选择

与裸导体同，区别修正系数与敷设方式和环境温度有关

$$K = K_t K_1 K_2 \text{ 或 } K = K_t K_3 K_4$$

## 4、 允许电压降校验

对供电距离较远、容量较大的电缆线路，应校验其电压损失，使

$$\Delta U\% = 173 I_{\max} L (r \cos\varphi + x \sin\varphi) / U \leq 5\%$$

## 5、 热稳定校验

$$S_{\min} \approx \sqrt{Q_k} / C$$

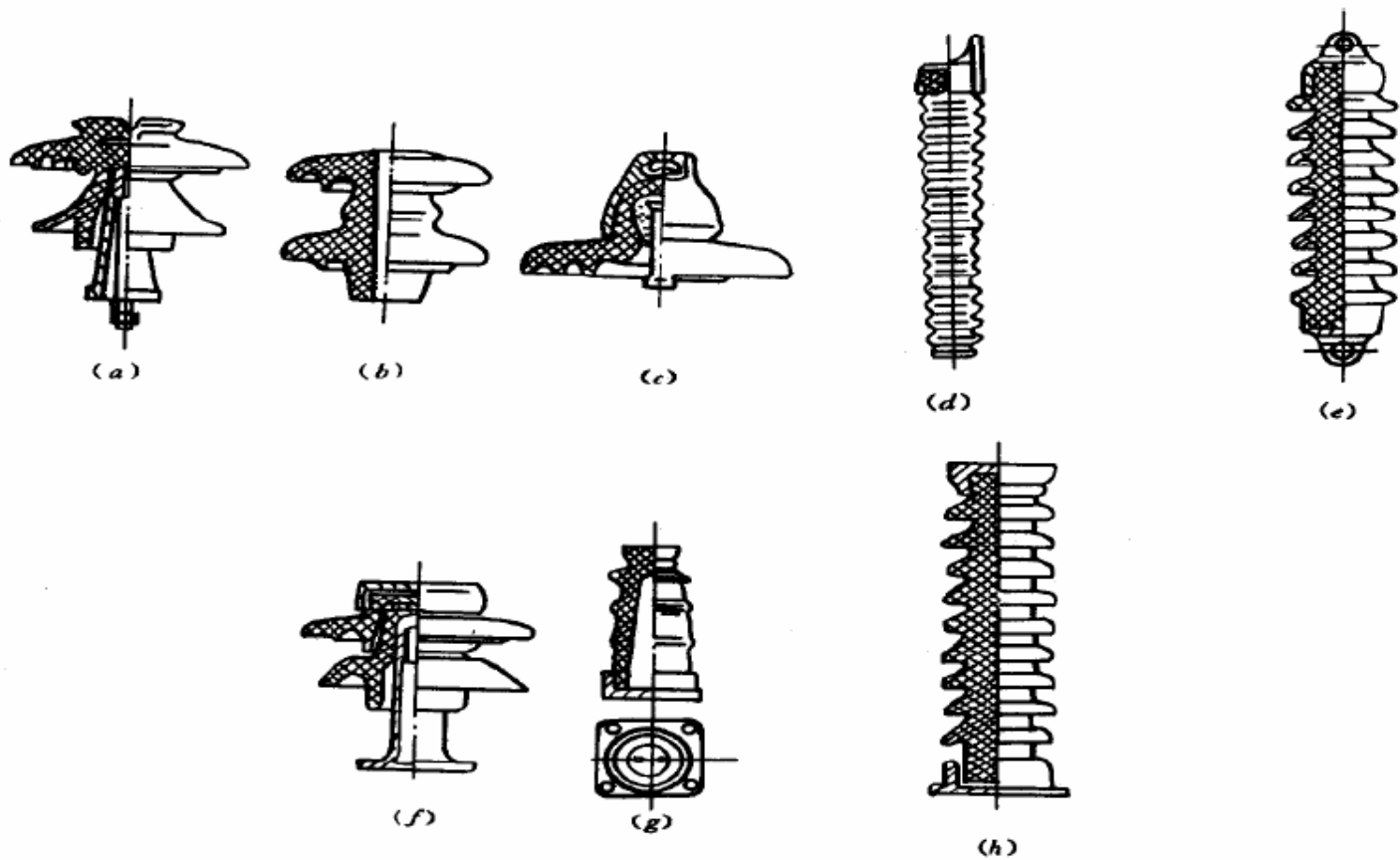
## 二、支柱绝缘子和穿墙套管的选择

作用：绝缘子是用来固定和支持裸导体，保证裸导体的对地绝缘及其在短路电流通过时的动稳固性。

### 1. 型式的选择

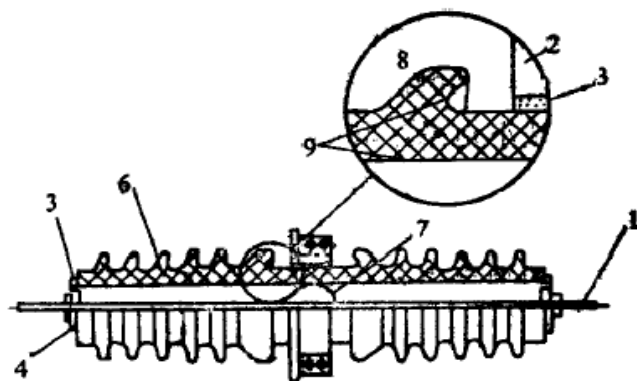
绝缘子包括支柱绝缘子和套管绝缘子。





支持绝缘子的基本型式

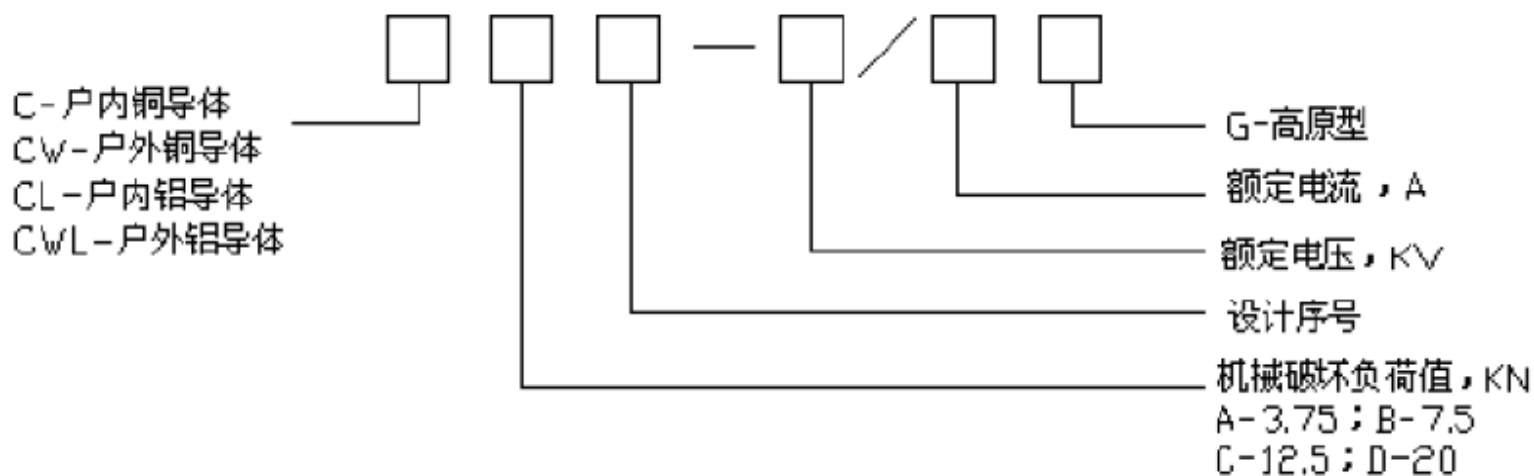
- a) 针式 b) 蝶式 c) 盘形悬式 d) 横担 e) 棒形针式 f) 针式支柱 g) 空心支柱 h) 棒形支柱



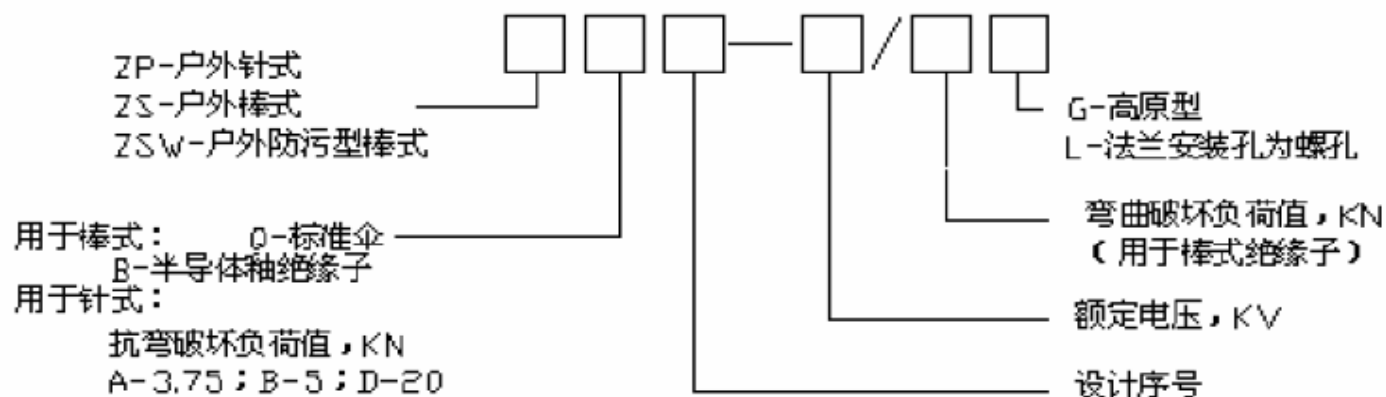
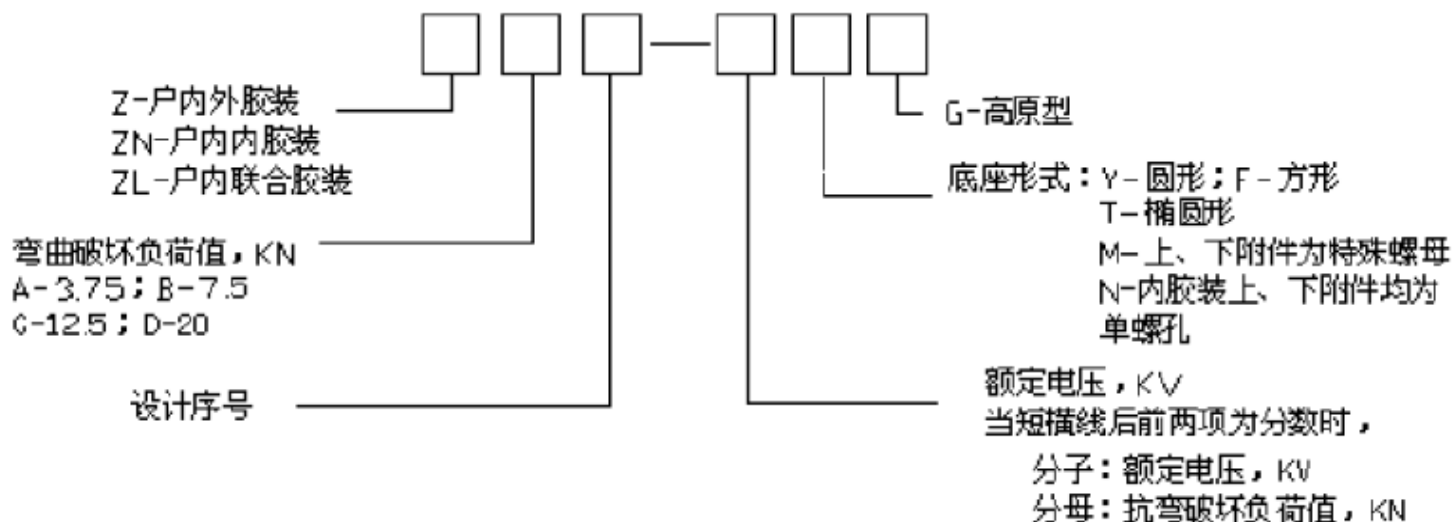
(b) CWB-35/400 型

1—载流导体；2—法兰；3—水泥胶合剂；4—端帽；5—固定开口销；6—瓷套；7—弹簧片；8—大裙；9—导电层

套管绝缘子又称穿墙套管，它用于高压配电装置带电导体穿过与其电位不同的隔板或墙壁处，起绝缘与支撑作用，其型号表达式为



支持绝缘子型号表达式为：



## 2、额定电压的选择

$$U_N \geq U_{NS}$$

## 3、额定电流的选择（支柱绝缘子和母线型穿墙套管无此项）

$$I_{\max} \leq KI_N$$

$K$ ——温度修正系数，当环境温度  $40 \leq \theta \leq 60$  时，

按  $K = \sqrt{\frac{\theta_{al} - \theta}{\theta_{al} - \theta_0}}$  计算， $\theta_{al}$ ——导体长期发热允许温度，取85度。

$\theta, \theta_0$ ——导体安装地点实际温度和额定环境温度。

## 4、热稳定校验（支柱绝缘子无此校验项）

$$I_t^2 t \geq Q_k$$

## 5、动稳定校验

$$F_{co} \leq 0.6F_{ph}$$

$F_{co}$  —— 短路时作用在绝缘子帽上的计算作用力

### 1) 支持绝缘子

$$F_{co} = F_{\max} \frac{H_1}{H}$$

$$H_1 = H + b + h/2 \text{ (mm)}$$

### 2) 穿墙套管

$$F_{co} = F_{\max}$$

$$F_{\max} = \frac{F_1 + F_2}{2} = 1.73i_{sh}^2 \frac{l_c}{a} \times 10^{-7} \quad (\text{N})$$

$l_c$  —— 计算跨距 (m)。支持绝缘子:  $l_c = (l_1 + l_2)/2$ ;

穿墙套管:  $l_c = l_{ca}$  (套管长度)

# 思考题

- 什么是验算动稳定的短路计算时间和电气设备的开断计算时间？
- 电流互感器常用的二次接线方式中，为什么不将三角形接线用于测量表计？
- 电压互感器一次绕组和二次绕组的接地各有何作用？接地方式有何差异？